



Экология животных / Ecology of animals

Оригинальная статья / Original article

УДК 574.24

DOI: 10.18470/1992-1098-2018-2-64-72

АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКОГО ГОМЕОСТАЗА И ОКСИДАТИВНОГО СТРЕССА В ОРГАНИЗМЕ БЫЧКОВЫХ РЫБ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

Татьяна В. Кузина*, Майя Л. Галактионова

Институт океанологии имени П.П. Ширшова

Российской академии наук, Москва, Россия, tatuls@mail.ru

Резюме. *Цель* заключается в исследовании взаимосвязи между содержанием микроядер, деструктивных нарушений в ядрах эритроцитов периферической крови бычка и интенсивностью процессов перекисного окисления липидов в тканях рыб. *Методы.* Был произведен количественный учет морфологически измененных ядер эритроцитов периферической крови бычков. Оценка цитогенетических нарушений в клетках крови рыб была проведена с помощью микроядерного теста. Для биохимических анализов отбирали пробы тканей: мышц и печени. Скорости перекисного окисления липидов (уровень ПОЛ) определяли методом, в основе которого лежит реакция конечного продукта перекисного окисления липидов – малонового диальдегида с тиобарбитуровой кислотой. *Результаты.* Выявлена корреляционная зависимость между скоростями СпПОЛ, АсПОЛ и накоплением МДА в печени рыб и изменениями в ядре эритроцитов ($R^2 = 0,8$; $R^2 = 0,6$; $R^2 = 0,7$ соответственно). *Выводы.* Установление их функциональной зависимости обосновывает необходимость использования цитогенетических маркеров для оценки воздействия неблагоприятных факторов среды на организм гидробионтов.

Ключевые слова: бычковые рыбы, микроядра, эритроциты, кариорексис, пикноз, кариолизис, оксидативный стресс, перекисное окисление липидов.

Формат цитирования: Кузина Т.В., Галактионова М.Л. Анализ взаимосвязи цитогенетического гомеостаза и оксидативного стресса в организме бычковых рыб Северного Каспия // Юг России: экология, развитие. 2018. Т.13, N2. С.64-72. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-2-64-72

ANALYSIS OF THE INTERRELATION OF CYTOGENETIC HOMEOSTASIS AND OXIDATIVE STRESS IN THE ORGANISM OF GOBY FISH (GOBIIDAE) OF THE NORTHERN CASPIAN

Tatiana V. Kuzina*, Maya L. Galaktionova

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia, tatuls@mail.ru

Abstract. Aim. The aim is to investigate the relationship between the content of micronuclei, destructive disorders in the nuclei of erythrocytes of peripheral blood of the goby fish and intensity of lipid peroxidation in fish tissues. **Methods.** Was used the method of quantitative accounting of morphologically altered red blood cells of peripheral blood of goby fish. Evaluation of cytogenetic disorders in fish blood cells was carried out based on a micronucleus test. Samples of muscle tissues and liver were sampled for biochemical analyzes. The rates of lipid peroxidation (LPO level) were determined by a method based on the reaction of malondialdehyde and thiobarbituric acid, the end product of lipid peroxidation. **Results.** A correlation was found between the rates of spontaneous LPO, ascorbate-dependant LPO and the accumulation of



malondialdehyde in the liver of fish and changes in the nucleus of erythrocytes ($R^2=0,8$; $R^2=0,6$; $R^2=0,7$, respectively). **Conclusions.** We established the functional dependence which justifies the need to use cytogenetic markers to assess the impact of adverse environmental factors on the body of hydrobionts.

Keywords: goby fish, micronucleus, erythrocytes, Karyorrhexis, pycnosis, karyolysis, oxidative stress, lipid peroxidation.

For citation: Kuzina T.V., Galaktionova M.L. Analysis of the interrelation of cytogenetic homeostasis and oxidative stress in the organism of goby fish (Gobiidae) of the Northern Caspian. *South of Russia: ecology, development*. 2018, vol. 13, no. 2, pp. 64-72. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2018-2-64-72

ВВЕДЕНИЕ

При проведении работ, связанных с мониторингом морской среды в настоящее время наряду с традиционными биологическими и гидрохимическими методами применяют молекулярно-генетические и физиолого-биохимические методы. Привлечение широкого комплекса биохимических показателей позволяет выявить механизмы воздействия поллютантов на определенные звенья метаболизма, провести раннюю диагностику токсикозов, определить основные загрязнители и степень их токсичности для гидробионтов. Цитогенетический анализ может быть использован в качестве объективного индикатора для экспресс-оценки стабильности генетического аппарата гидробионтов, прогнозирования влияния негативных факторов среды на популяционно-генетическую структуру рыб.

Различные биохимические и патофизиологические нарушения могут быть выявлены у различных видов рыб, показатели физиологического состояния чаще используются в диагностике последствий токсического загрязнения вод, так как они могут информативно отражать как последствия хронического загрязнения вод, так и стрессовые условия в периоды, предшествующие исследованиям [1]. Индикатором стресса под действием загрязняющих веществ водной среды являются показатели перекисного окисления липидов в тканях гидробионтов.

У рыб увеличение интенсивности реакций перекисления в тканях вызывают разные виды загрязнителей, в том числе и те, которые оказывают генотоксический эффект [2].

Среди наиболее показательных и простых методов оценки генотоксического действия загрязняющих факторов водной среды, выделяют микроядерный тест на клетках периферической крови рыб. В его основе лежит подсчет в эритроцитах микроядер, индуцированных хроническим действием токсических веществ [3]. Данный вид исследования является одним из эффективных методов выявления цитогенетических изменений у конкретной особи под суммарным воздействием загрязняющих факторов среды [4]. Количественный учет морфологических изменений в клетках крови, деструктивных нарушений в ядрах эритроцитов позволяет понимать величину токсического влияния, которое испытывают рыбы в естественных условиях обитания.

Целью наших исследований был анализ цитогенетических нарушений в крови рыб и определение показателей оксидативного стресса в тканях рыб, установление их функциональной зависимости для подтверждения объективного использования данных критериев при оценке воздействия неблагоприятных факторов среды на организм гидробионтов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования были выбраны бычковые рыбы – малоподвижные, обитающие на дне и широко распространенные в акватории Северного Каспия. Они могут служить достаточно хорошим и достоверным биоиндикатором состояния водной среды и степени антропогенного воздействия

[6]. Вылов рыбы для анализа производился летом 2017 г. (16-24 июля) на четырех Структурах в Северном Каспии. Структуры 3 и 4 находятся в мелководной зоне (глубина 6-10 метров), станции Структур 1 и 2 в диапазоне глубин 10-14 метров. Выловленные рыбы в общей массе были половозрелые



особи без видимых внешних повреждений, средней длины 12 см, массы – 17 г. Препараты крови готовили в момент вылова рыб, фиксировали этиловым спиртом на месте, окрашивали в лаборатории по методу Романовского-Гимзы. Объем выборки составил в среднем 1036 эритроцитов на мазок. Проанализировано было 93 препарата периферической крови. Оценивали частоту встречаемости эритроцитов с микроядрами и другими типами патологии ядра по отношению к общему количеству проанализированных эритроцитов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цитогенетический гомеостаз оценивали по микроядерному тесту эритроцитов периферической крови рыб. Это один из наиболее быстрых тестов выявления генотоксического действия факторов среды на организм гидробионтов. Пути формирования микроядер (МЯ) могут быть следующие: нарушение процессов деления ядра клеток, в результате которого, хромосомы, лишенные центромер, или фрагменты хромосом неравномерно расходятся [3; 4]. Также микроядра могут формироваться и при отсутствии деления клеток. В этом случае ядро сначала формирует лопасть, которая потом отслаивается и образует МЯ. Можно предположить, что немитотическое образование МЯ – это путь выброса генетически дефектного хроматина.

Для биохимических анализов отбирали пробы тканей: мышц и печени. Скорости перекисного окисления липидов (уровень ПОЛ) определяли методом, в основе которого лежит реакция конечного продукта пероксидного окисления липидов – малонового диальдегида с тиобарбитуровой кислотой [7]. Пробы на физиолого-биохимические показатели собраны и обработаны от 213 особей бычков. Результаты обработаны статистически.

Из всех обследованных рыб только у 23% на мазках крови не обнаружены эритроциты с МЯ (рис. 1). На станциях «Структура 3» отмечено наибольшее количество микроядер среди обследованных клеток ($3,3 \pm 0,64$). Но данный уровень встречаемости считается незначительным и не может свидетельствовать о генотоксичности среды обитания изученных рыб. В литературе отмечено, что при спонтанном мутагенезе вероятность встречаемости эритроцитов с МЯ в периферической крови, составляет 0,5-1,0% [4]. Также ранее была изучена частота встречаемости микроядер в эритроцитах периферической крови судака, выловленного в Волго-Каспийском канале, анализ выявил до $18,12 \pm 1,44$ МЯ на 1000 эритроцитов [8].

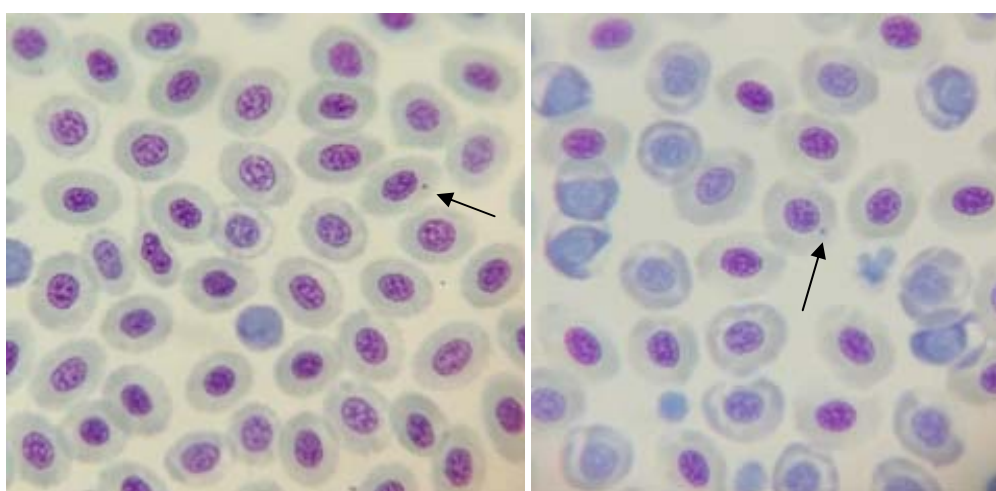


Рис.1. Эритроциты с микроядрами в крови бычка (ув. 1000)

Fig.1. Erythrocytes with micronuclei in the blood of goby fish (x1000 zoom)

При оценке эритроцитов учитывали и дегенеративные изменения в ядре. К таким

нарушениям относили: кариорексис (ядро при сохранении ядерной оболочки распа-

ется на отдельные части), кариопикноз (хроматин ядра уплотняется) и вытекание кариоплазмы в цитоплазму клетки (кариолизис) (рис. 2). Вытекание кариоплазмы из эритроцита наблюдалось у 23% рыб от всех обследованных. На станции «Структура 1» встречался максимальный процент данного нарушения – 1,4 от всех просмотренных эритроцитов. А частота встречаемости дан-

ного показателя не превышала 4. Пикноз ядер отмечался более чем у 50% рыб (табл. 1). Явление кариорексиса встречалось у 20% особей бычка. Более выраженный характер, как по встречаемости признака, так и по степени его проявления имело у рыб, выловленных на станции «Структура 2» и достигало максимального значения 6% от общего количества обследованных клеток.

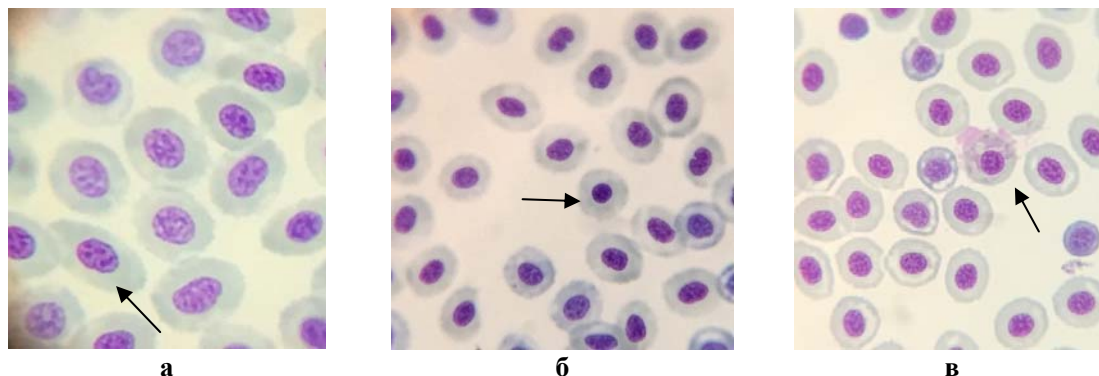


Рис.2. Кариорексис (а), кариопикноз (б), кариолизис (в) в эритроцитах периферической крови бычка (ув. 1000)

Fig.2. Karyorrhexis (a), karyopyknosis (б), karyolysis (в) in the red blood cells of the goby fish (x1000 zoom)

Таблица 1

Частота встречаемости особей с различными типами патологий эритроцитов в крови рыб

Table 1

Frequency of individuals with different types of erythrocyte pathologies in the blood of fish

Тип патологии Type of pathology	Параметры встречаемости рыб с патологией от всех исследованных особей, % Parameters of the occurrence of fish with pathology from all the individuals studied, %	Средняя встречаемость данного типа патологии и ошибка (мин и макс значения, %) The average occurrence of this type of pathology and error (min and max values, %)
Кариорексис Karyorrhexis	20	1,7±0,7 (0-6,1)
Кариопикноз Karyopyknosis	59	1,1±0,1 (0-0,5)
Кариолизис Karyolysis	23	0,7±0,1 (0-1,4)

Коэффициенты корреляции эритроцитов с МЯ и эритроцитов с суммарным количеством деструктивных нарушений ядра (кариорексис, пикноз, кариолизис), и эритроцитов с кариорексисом равны: $R = -0,4$ и $R = -0,6$ ($p < 0,05$) соответственно. Образование микроядер в данном случае можно рассматривать как результат (вариант) адапта-

ции клетки в условиях действия токсических факторов среды обитания рыб. В свою очередь нарушения в структуре клетки как конденсация ядра (кариопикноз) с последующим его растворением (кариолизис) или распадом на отдельные части (кариорексис) можно рассматривать как стадии повреждения клетки, вследствие необратимого про-



цесса, и в конечном итоге разрушение самого эритроцита. Таким образом, чем больше клеток с микроядрами, тем меньше клеток, подвергающихся деструктивным процессам разрушения.

На глубоководных станциях «Структура 2» отмечен наибольший уровень деструктивных нарушений в ядре эритроцитов, но процент данной патологии от общего количества клеток был невысокий. Данные нарушения являются необратимыми, но частота встречаемости не позволяет судить о здоровье всей популяции. Также эти данные хорошо перекликаются с данными по токсикологическому анализу воды, соответствующих районов исследования. В этих результатах показано, что большая концентрация накопления в воде в местах отбора проб на станциях «Структура 2» таких веществ, как кобальт, никель, свинец, хром. Нужно отметить, что и количественный состав бычков меньше, чем на других структурах. Можно предположить,

что характер отмеченных цитоморфофизиологических нарушений связан с присутствием токсических веществ, обладающих повреждающим действием, и длительностью их воздействия на момент взятия проб.

Из биохимических показателей исследовали наиболее чувствительные, т.е. те, которые одни из первых реагируют в организме рыб на воздействие различных токсических веществ – перекисное окисление липидов в печени и мышцах [2]. Оксидативный стресс оценивали по интенсивности перекисного окисления липидов (ПОЛ) в тканях рыб и по накоплению малонового диальдегида (МДА) – одного из конечных продуктов перекисного окисления. Анализ показателей ПОЛ у бычков показывает достаточно высокую неоднородность из различных станций исследуемых структур. На рисунке 3 показаны усредненные данные по структурам исследования.

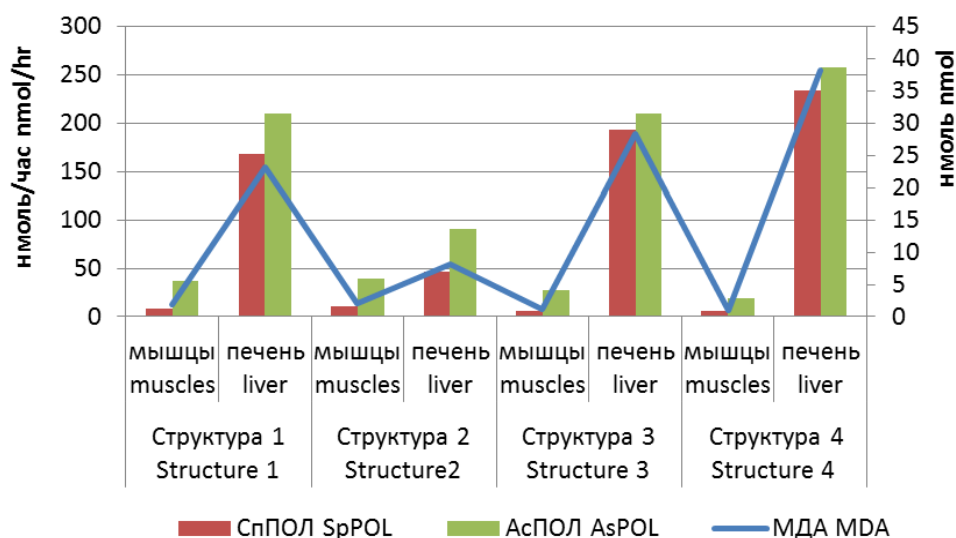


Рис.3. Динамика активности перекисных процессов
Fig.3. Dynamics of peroxide processes

Наиболее высокая интенсивность перекисных процессов в печени выявлена у рыб из станции «Структура 4» – 330 ± 67 нмоль/ч, а наименьшая – у бычков из станции «Структура 2» – 165 ± 41 нмоль/ч. На остальных станциях она колебалась в пределах 208 ± 36 – 232 ± 86 нмоль/ч. Скорость протекания спонтанных реакций, как правило, была несколько ниже аскорбатзависимой. У рыб, выловленных на

станциях «Структура 2», интенсивность перекисных процессов в печени была самая низкая среди всех исследованных станций – 44 ± 13 нмоль/ч по АсПОЛ и 30 ± 9 нмоль по СпПОЛ, однако в мышцах она была одной из самых высоких – 8 – 11 нмоль/ч по СпПОЛ и 30 – 32 нмоль/ч по АсПОЛ. Таким образом, судя по среднему уровню перекисных процессов в печени и мышцах у рыб, выловленных на исследованных станциях,



имеет место различный уровень воздействия на рыб поллютантов по силе и длительности их действия [2].

Нами был проведен корреляционный анализ между показателями оксидативного стресса и суммарным количеством деструктивных изменений в ядре эритроцитов. Наиболее быстро и высокой интенсивностью перекисных процессов, реагирует ткани печени, в сравнении с мышечной тканью, реакция которой более замедленна. В соответствии с этим наблюдается и более высокий уровень содержания в печени продукта этой реакции, малонового диальдегида (МДА), в сравнении с мышцами. Была выявлена прямая корреляционная зависимость (рис. 4). Чем выше скорости процессов окисления

в тканях, тем большее количество нарушений в ядре эритроцитов периферической крови этого экземпляра рыбы. Коэффициенты корреляции скорости СпПОЛ, АсПОЛ и накопления МДА в печени рыб с изменениями в ядре эритроцитов периферической крови бычков равны $R=0,5$; $R=0,5$; $R=0,6$ соответственно. Однако между количеством эритроцитов с отмеченными цитогенетическими нарушениями, в виде образования микроядра, и процессами перекисления в тканях, наоборот отрицательная зависимость. Как было отмечено выше, образование микроядер – способ адаптации клетки к действию токсических факторов среды на организм рыбы.

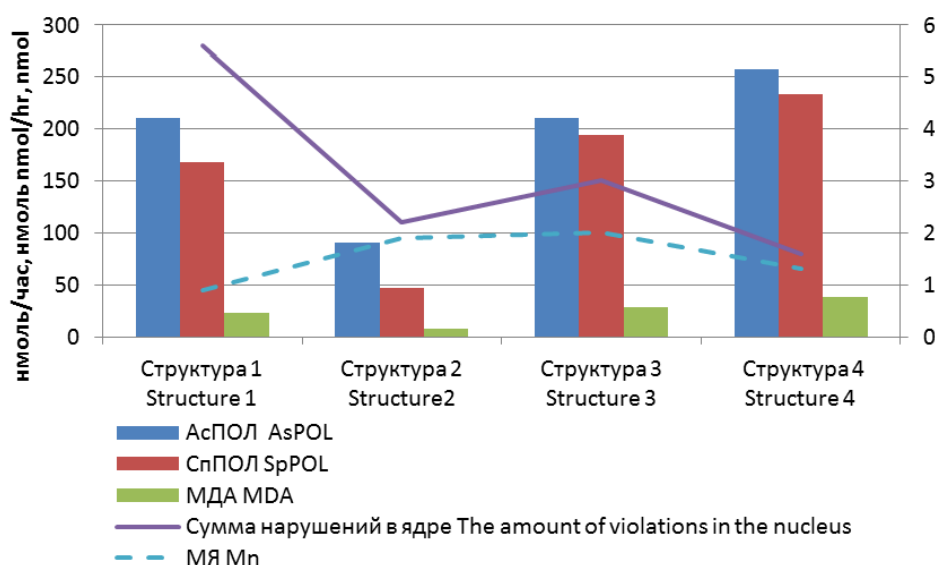


Рис.4. Динамика показателей перекисных процессов в печени рыб и цитогенетического гомеостаза

Fig.4. Dynamics of indicators of peroxide processes in the liver of fishes and cytogenetic homeostasis

Для установления соответствия показателей оксидативного стресса в тканях рыб по отношению к количеству деструктивных изменений в ядре нами был применен метод простого регрессионного анализа с помощью трендовых моделей (рис. 5).

Так, зависимость между биофизическими показателями и цитогенетическими нарушениями описывали полиномиальные модели третьей

степени с коэффициентом аппроксимации $R^2 = 0,708$ для накопления МДА в печени, $R^2 = 0,746$ для скорости СпПОЛ в печени и $R^2 = 0,630$ для скорости АсПОЛ в печени, что свидетельствует о средней связи параметров. При большем наборе параметров теснота связи, вероятно, увеличится, что подтверждает необходимость проведения подобных исследований для оценки «здоровья» водной экосистемы.

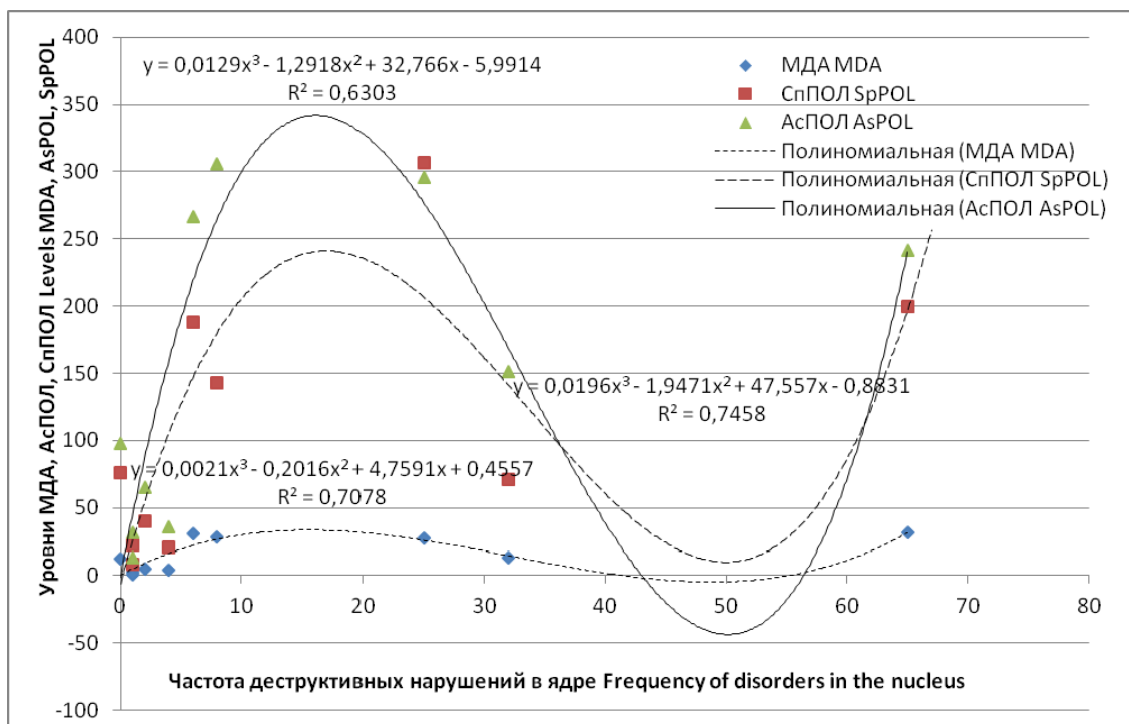


Рис.5. Функциональная зависимость показателей оксидативного стресса и цитогенетического гомеостаза бычковых рыб Северного Каспия
Fig.5. Functional dependence of indices of oxidative stress and cytogenetic homeostasis of bovine fishes of the Northern Caspian

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение состояния бычковых рыб, выловленных в Северном Каспии, на основе комплекса физиолого-биохимических и цитогенетических показателей выявило различные уровни воздействия на этих рыб загрязнений, локализующихся в среде их обитания. Об этом свидетельствуют значительный диапазон колебаний средних значений скорости перекисного окисления липидов в печени рыб (23-502 нмоль/ч), отловленных на разных станциях, а также статистически значимые различия по ряду исследуемых показателей, выявленные у гидробионтов из разных станций. Отмеченные деструктивные нарушения в ядре эритроцитов периферической крови и образования генетических нарушений в виде МЯ, позволяют делать

предположения о силе влияния неблагоприятных факторов среды и длительности их воздействия на организм рыб. Таким образом, данные по анализу цитогенетических нарушений в крови бычков согласуются с данными по физиологической оценке рыб. В результате генетический и биохимический полиморфизм гидробионтов может быть использован в качестве критерия адаптации рыб в условиях повышенной антропогенной нагрузки на водные экосистемы. Полученные в работе данные могут свидетельствовать о перспективном использовании цитогенетических маркеров для оценки воздействия неблагоприятных факторов среды на организм гидробионтов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Моисеенко Т.И. Водная экотоксикология: теоретические и прикладные аспекты. Москва: Наука, 2009. 400 с.
2. Гераскин П.П., Пономарёва Е.Н., Металлов Г.Ф., Галактионова М.Л. Нефтяное загрязнение каспийского моря как один из факторов

- иницирования оксидативного стресса у осетровых // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 5-1. С. 209-216.
3. Ильинских Н.Н., Ильинских И.Н., Некрасов В.Н. Использование микроядерного теста в скрининге и мониторинге мутагенов // Цитология и генетика.



1988. Т. 22. N 7. С. 67–72.

4. Ильинских Н.Н., Новицкий В.В., Ванчугова Н.Н., Ильинских И.Н. Микроядерный анализ и цитогенетическая нестабильность. Томск: Издательство Томского Университета, 1992. 270 с.

5. Степанова Т.Г. Численность, распределение и питание бычков в Северном Каспии // Комплексное использование биологических ресурсов Каспийского и Азовского морей: Тез. докл. Всесоюз. конф. молодых ученых и специалистов. Москва: ВНИРО, 1983. С. 279–280.

6. Королюк М.А. Медицинская биохимия // Лабораторное дело. 1988. N 1. 40 с.

7. Козак М.Ф., Кузина Т.В. Образование микроядер в эритроцитах периферической крови промысловых рыб как показатель проявления кумулятивного токсикоза // Материалы международной научно-практической конференции. «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития». Одесса: Издательство Черноморье. 2011. Т. 30. С. 69–71.

8. Кузина Т.В. Изменения структуры ядра эритроцитов периферической крови промысловых рыб Волго-Каспийского канала // Вестник

Московского государственного областного университета. Серия Естественные науки. 2011. N 2. С. 50–57.

9. Барабой В.А. Механизм стресса и перекисное окисление липидов // Успехи современной биологии. 1991. Т. 111. N 6. С. 923–931.

10. Давыдов О.Н., Темниханов Ю.Д., Куровская Л.Я. Патология крови рыб. Киев: ИНКОС, 2006. 206 с.

11. Зенков Н.К., Ланкин В.З., Меньщикова Е.Б. Окислительный стресс: Биохимический и патофизиологический аспекты. Москва: МАИК «Наука / Интерпериодика», 2001. 343 с.

12. Солдатов А.А., Кухарева Т.А. Сравнительная оценка эритрограмм циркулирующей крови представителей семейства *Gobiidae* из акватории Юго-Западного Крыма // Вопросы ихтиологии. 2015. Т. 55. N 3. С. 368–371. DOI: 10.7868/S0042875215030169

13. Солдатов А.А., Пашкова Е.В., Кухарева Т.А. Микроядерные включения в эритроцитах бычка-кругляка при различной интенсивности эритропоэтических процессов // Гидробиологический журнал. 2012. Т. 48. N 4. С. 75–80.

REFERENCES

1. Moiseenko T.I. *Vodnaya ekotoksikologiya: teoreticheskie i prikladnye aspekty* [Water Ecotoxicology: Theoretical and Applied Aspects]. Moscow, Nauka Publ., 2009, 400 p. (In Russian)

2. Geraskin P.P., Ponomaryeva E.N., Metallov G.F., Galaktionova M.L. Petroleum pollution of Caspian Sea as one of the factors initiated the oxidative stress in sturgeon. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk* [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2012, vol. 14, no. 5-1, pp. 209–216. (In Russian)

3. Il'inskiy N.N., Il'inskiy I.N., Nekrasov V.N. Use of micronuclear test in screening and monitoring of mutagens. *Tsitologiya i genetika* [Cytology and Genetics]. 1988, vol. 22, no. 7, pp. 67–72. (In Russian)

4. Il'inskiy N.N., Novitskiy V.V., Vanchugova N.N., Il'inskiy I.N. *Mikroyadernyi analiz i tsitogeneticheskaya nestabil'nost'* [Micronuclear analysis and cytogenetic instability]. Tomsk, Tomsk University Publ., 1992, 270 p. (In Russian)

5. Stepanova T.G. Number, distribution and nutrition of steers in the Northern Caspian. *Tezisy dokladov Vsesoyuznoi konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov «Kompleksnoe ispol'zovanie biologicheskikh resursov Kaspiiskogo i Azovskogo morei»*, Moskva, 1983 [Theses of the reports of the All-Union Conference of Young Scientists and Specialists "Complex use of biological resources of the Caspian and Azov Seas", Moscow, 1983]. Moscow, 1983, pp. 79–80. (In Russian)

6. Korolyuk M.A. Medical Biochemistry. *Laboratornoe*

delo [Laboratory work]. Moscow, 1988, 40 p. (In Russian)

7. Kozak M.F., Kuzina T.V. *Obrazovanie mikroyader v eritrotsitakh perifericheskoi krovi promyslovykh ryb kak pokazatel' proyavleniya kumulyativnogo toksikoza* [Formation of micronuclei in erythrocytes of peripheral blood of commercial fish as an indicator of manifestation of cumulative toxicosis]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Nauchnye issledovaniya i ikh prakticheskoe primeneniye. Sovremennoe sostoyaniye i puti razvitiya»*, Odessa, 2011 [Materials of the international scientific-practical conference. "Scientific research and its practical application. Current state and ways of development", Odessa, 2011]. Odessa, 2011, vol. 30, pp. 69–71. (In Ukraine)

8. Kuzina T.V. Changes in the structure of the nucleus of erythrocytes of peripheral blood of commercial fish of the Volga-Caspian canal. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* [Bulletin of the Moscow Region State University. Series of Natural Sciences]. 2011, no. 2, pp. 50–57. (In Russian)

9. Baraboi V.A. The mechanism of stress and lipid peroxidation. *Uspekhi sovremennoi biologii* [Biology Bulletin Reviews]. 1991, vol. 111, no. 6, pp. 923–931. (In Russian)

10. Davydov O.N., Temnikhanov Yu.D., Kuravskaya L.Ya. *Patologiya krovi ryb* [Pathology of the blood of fish]. Kiev, INKOS Publ., 2006, 206 p. (In Russian)

11. Zenkov N.K., Lankin V.Z., Men'shnikova E.B.



Okislitel'nyi stress: Biokhimicheskii i patofiziologicheskii aspekty [Oxidative stress: Biochemical and pathophysiological aspects]. Moscow, MAIK «Nauka Interperiodika» Publ., 2001, 343 p. (In Russian)
12. Soldatov A.A., Kukhareva T.A. Comparative estimation of circulating blood erythrograms of the family Gobiidae representatives from the water areas of southwestern Crimea. *Journal of Ichthyology*, 2015, vol.

55, no. 3, pp. 368–371. (In Russian) DOI: 10.7868/S0042875215030169

13. Soldatov A.A., Pashkova E.V., Kukhareva T.A. Micronucleus inclusions in erythrocytes of the bull-roundworm at various intensities of erythropoietic processes. *Gidrobiologicheskii zhurnal* [Hydrobiological Journal]. 2012, vol. 48, no. 4, pp. 75–80. (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Татьяна В. Кузина* – кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт океанологии имени П.П. Ширшова Российской академии наук, Нахимовский проспект, д.36, г. Москва, 117997 Россия, тел.: 89033475484, e-mail: tatuls@mail.ru

Майя Л. Галактионова – научный сотрудник, Институт океанологии имени П.П. Ширшова Российской академии наук, г. Москва, Россия

Критерии авторства

Татьяна В. Кузина обработала пробы рыб (гематологические исследования), написала рукопись, обработала статистические данные; Майя Л. Галактионова обработала пробы рыб (биохимические исследования), принимала участие в обработке данных и оформлении материалов. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 26.02.2018

Принята в печать 03.04.2018

AUTHORS INFORMATION

Affiliations

Tatiana V. Kuzina* – Candidate of Biological Sciences, research associate, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Nakhimovsky Avenue, 36, Moscow, 117997 Russia, tel. 89033475484, e-mail: tatuls@mail.ru

Maya L. Galaktionova – research associate, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

Contribution

Tatiana V. Kuzina conducted an analysis on the fish samples (hematology studies), wrote the manuscript, analyzed statistical data; Maya L. Galaktionova conducted an analysis on the fish samples (biochemical studies), participated in conducting the analysis of data and design of materials. All authors are equally responsible for avoiding the plagiarism, self-plagiarism or any other unethical issues.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 26.02.2018

Accepted for publication 03.04.2018